

PEMANFAATAN FOTOKATALIS TiO_2 UNTUK MEREDUKSI ION TIMBAL

Kapti Riyani dan Tien Setyaningtyas

Program Studi Kimia, Jurusan MIPA
Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
kapti_yani@yahoo.com

ABSTRACT

TiO_2 photocatalyst can be used to reduce heavy metal ions into common metal ion or metal ion with lower coordination number. This research aimed to (1) study the influence of pH on the photoreduction activity of Pb^{2+} ion by TiO_2 , (2) study the influence of hole scavenger on the photoreduction activity of Pb^{2+} ion by TiO_2 , (3) study the influence of light source on the photoreduction activity of Pb^{2+} ion by TiO_2 . The method used on this research is laboratory experiment consist of the making of TiO_2 thin film, standard Pb^{2+} photoreduction with the variation of pH, standard Pb^{2+} photoreduction with the variation of light source. The results of Pb^{2+} photoreduction are analyzed by Atomic Absorption Spectroscopy. The result of the research showed that the activity of TiO_2 to reduce Pb^{2+} can be optimum at pH 6, oxalic acid as hole scavenger and UV lamp use. The sunlight can also be used as the light source to reduce Pb^{2+} by TiO_2 photocatalyst.

Keywords: **photocatalyst, photoreduction, TiO_2 , Pb^{2+}**

PENDAHULUAN

Telah disadari bahwa kemajuan industri dan teknologi yang mampu meningkatkan kesejahteraan manusia itu ternyata juga menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan yang pada akhirnya juga berdampak terhadap manusia. Salah satu pencemaran yang cukup memprihatinkan saat ini adalah pencemaran air yang disebabkan oleh logam berat, salah satunya adalah ion Pb^{2+} .

Untuk menghindari pengaruh yang membahayakan terhadap makhluk hidup, konsentrasi logam berat harus ditekan ke tingkat yang aman dengan mengolah limbah tersebut sebelum dibuang ke aliran sungai sehingga tidak akan menimbulkan polusi pada air. Salah satu metode untuk mengolah ion logam berat adalah dengan fotokatalis TiO_2 , dimana ion logam dapat direduksi menjadi bentuk logam. Logam yang

dihasilkan dari proses fotoreduksi bisa dipisahkan dan dimanfaatkan kembali sehingga tidak menimbulkan limbah baru. (Lau, 1998)

Ada beberapa hal yang mempengaruhi aktifitas fotoreduksi logam berat dengan menggunakan katalis TiO_2 , yaitu konsentrasi ion logam, pH dari medium, jenis *hole scavenger* (penangkap h^+ atau senyawa yang dapat dengan mudah dioksidasi, biasanya merupakan spesi organik) yang digunakan. *Hole scavenger* berfungsi untuk menangkap *hole* pada pita valensi sehingga akan mengurangi laju rekombinasi *hole* dan elektron, dengan berkurangnya rekombinasi maka aktifitas dari fotoreduksi akan semakin meningkat (Dingwang, 1999; Nguyen, 2003)

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui aktivitas fotokatalis TiO_2 dalam mereduksi ion logam Pb^{2+} serta mengetahui kondisi optimum fotoreduksi

Pb²⁺ menggunakan fotokatalis TiO₂ yang meliputi pH, sumber sinar dan *hole scavenger*.

Manfaat dari penelitian diharapkan fotokatalis TiO₂ dapat digunakan dalam pengolahan limbah cair industri yang banyak menggunakan senyawaan Pb sebagai bahan dasarnya untuk mereduksi ion logam Pb. Logam Pb sebagai hasil fotoreduksi dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan industri.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah TiO₂ Merck. Sedangkan bahan-bahan lainnya adalah Pb(NO₃)₂, aquades, asam nitrat, NaOH, buffer sitrat, metanol, etanol, asam oksalat dan EDTA.

Peralatan yang digunakan adalah beaker gelas, kaca obyek, lampu UV, magnetik stirer, pH meter dan AAS.

Cara Kerja

Pembuatan TiO₂ Lapis Tipis

TiO₂ sebanyak 400 mg disuspensikan dalam 80 mL aquades. Selanjutnya kaca obyek dimasukkan dalam suspensi TiO₂, kemudian kaca obyek yang telah dilapisi TiO₂ dikeringkan dengan *hair dryer*. Setelah kering diaktivasi pada suhu 100⁰ C selama 1 jam. Setelah diaktivasi lapisan tipis TiO₂ sudah dapat digunakan untuk percobaan selanjutnya.

Pengaruh pH terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺

Kaca obyek yang telah dilapisi TiO₂ dimasukkan dalam beaker gelas dengan posisi vertikal seperti pada Gambar 1. Selanjutnya sebanyak 200 mL larutan Pb²⁺ 100 ppm dimasukkan ke dalam beaker gelas tersebut, dengan variasi pH yang digunakan 2, 3, 4, 5 dan 6. pH diatur dengan penambahan asam nitrat dan NaOH, dengan buffer sitrat untuk mempertahankan pH yang telah

diatur. Lama penyinaran UV 180 menit. Waktu pengambilan sampel adalah pada waktu percobaan 0 menit dan 180 menit. Konsentrasi Pb²⁺ pada setiap waktu pengambilan sampel diukur dengan AAS.

Pengaruh jenis *hole scavenger* terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺

Kondisi percobaan yang digunakan adalah 200 mL larutan Pb²⁺, lama penyinaran UV 120 menit, pH yang digunakan adalah pH optimum yang didapat dari percobaan 2, dengan variasi *hole scavenger* yaitu tanpa penambahan *hole scavenger*, metanol, etanol, asam oksalat dan EDTA dengan perbandingan mol Pb²⁺/mol *hole scavenger* = 1. Waktu pengambilan sampel adalah pada waktu percobaan 0 menit dan 180 menit. Konsentrasi Pb²⁺ pada setiap waktu pengambilan sampel diukur dengan AAS.

Pengaruh sumber sinar terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺

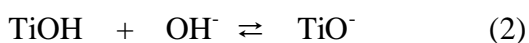
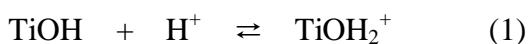
Kondisi percobaan yang digunakan adalah 200 mL larutan Pb²⁺ standar, lama penyinaran 120 menit, pH yang digunakan adalah pH optimum yang didapat dari percobaan 3.2, *hole scavenger* yang digunakan adalah *hole scavenger* yang paling optimum yang didapat dari percobaan 4.3.3, perbandingan mol Pb²⁺/mol *hole scavenger* = 1. Waktu pengambilan sampel adalah pada waktu percobaan 0 menit dan 180 menit. Sumber sinar yang digunakan adalah tanpa penyinaran (gelap), penyinaran dengan UV dan penyinaran dengan sinar matahari. Konsentrasi Pb²⁺ pada setiap waktu pengambilan sampel diukur dengan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pH Terhadap Aktifitas Fotoreduksi Pb²⁺

Untuk melihat pengaruh pH terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ dilakukan dengan menggunakan lapis tipis TiO₂ tanpa adanya *hole scavenger* dan jumlah lampu UV 5 buah dengan lama penyinaran 180 menit. Variasi pH dilakukan pada pH asam dari 2 sampai 6. Pada pH 7 tidak dilakukan karena pada pH 7 sudah mulai timbul endapan Pb(OH)₂. Hasil dari pengaruh pH terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2. terlihat bahwa besarnya pH secara signifikan akan mempengaruhi aktifitas fotokatalis TiO₂ untuk mereduksi ion Pb²⁺ menjadi logam Pb. Semakin besar pH, aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ semakin meningkat. Menurut Toor (2006), pH larutan akan mempengaruhi muatan pada partikel TiO₂, bentuk agregat TiO₂ dan posisi dari pita konduksi dan pita valensi TiO₂.



Pada percobaan yang kami lakukan menggunakan katalis lapis tipis TiO₂, sehingga pH larutan hanya akan mempengaruhi keasaman dan kebasahan dari katalis TiO₂. Berdasarkan persamaan (1) dan (2), maka semakin besar nilai pH atau semakin basa medium akan semakin cepat laju reduksi dari Pb²⁺. Partikel TiO₂ yang semakin bermuatan negatif akan menambah laju absorpsi ion Pb²⁺, dengan semakin besarnya laju absorpsi maka aktifitas fotoreduksi juga akan semakin meningkat karena berkurangnya laju rekombinasi dari *hole* dan elektron yang terbentuk.

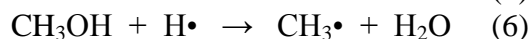
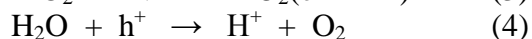
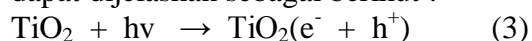
Pengaruh Hole Scavenger Terhadap Aktifitas Fotoreduksi Pb²⁺

Untuk melihat pengaruh *hole scavenger* dilakukan pada pH optimum untuk fotoreduksi Pb²⁺ yaitu pada pH 6,

sebagai *hole scavenger* digunakan metanol, etanol, asam oksalat dan EDTA, perbandingan mol Pb²⁺ dan mol *hole scavenger* adalah 1 : 1. Hasil dari pengaruh *hole scavenger* terhadap fotoreduksi Pb²⁺ dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. menunjukkan bahwa, jika dibandingkan dengan kondisi tanpa *hole scavenger* (kontrol) terjadi penurunan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ untuk metanol dan etanol sebagai *hole scavenger*. Penurunan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ ini terjadi karena metanol dan etanol pada fotoreduksi Pb²⁺ tidak bertindak sebagai *hole scavenger* tapi bertindak sebagai penangkap elektron untuk digunakan sebagai agen pereduksi menjadi metana dan etana, sehingga dengan adanya metanol dan etanol akan terjadi persaingan adsorpsi pada permukaan katalis dan persaingan penggunaan elektron dari katalis TiO₂ untuk fotoreduksi. Adanya persaingan adsorpsi dan penggunaan elektron tersebut maka aktifitas untuk fotoreduksi Pb²⁺ akan turun.

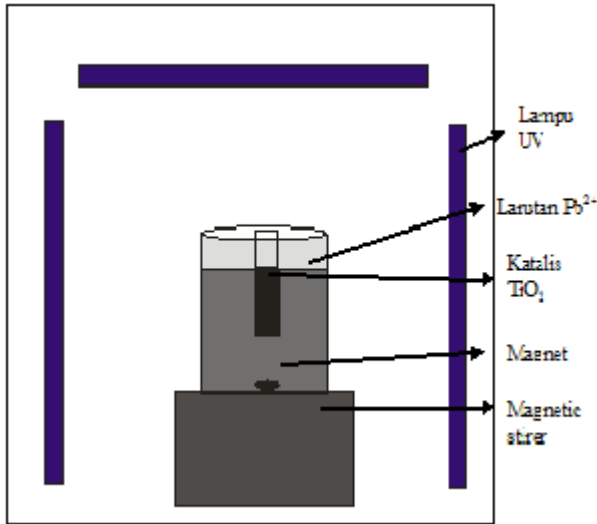
Reaksi reduksi metanol dan etanol dapat dijelaskan sebagai berikut :



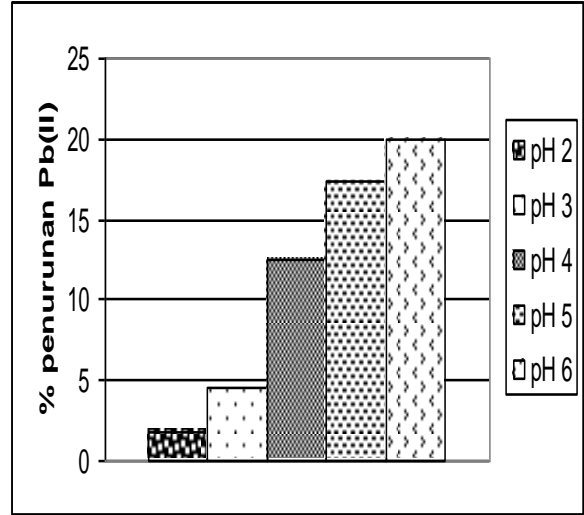
Penggunaan EDTA sebagai *hole scavenger* juga akan menurunkan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺, hal ini kemungkinan terjadi karena Pb²⁺ akan membentuk kompleks dengan EDTA sehingga Pb²⁺ akan lebih sukar untuk direduksi menjadi logam. Dari hasil yang didapat dapat dikatakan bahwa metanol, etanol dan EDTA akan menurunkan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺. Sementara apabila digunakan asam oksalat sebagai *hole scavenger* akan meningkatkan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺, peningkatan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ terjadi karena berkurangnya laju rekombinasi *hole* dan

elektron, dimana *hole* pada permukaan TiO₂ dipakai untuk oksidasi ion oksalat dan elektron dipakai untuk reduksi Pb²⁺. Menurut Jin (2004), reaksi yang mungkin

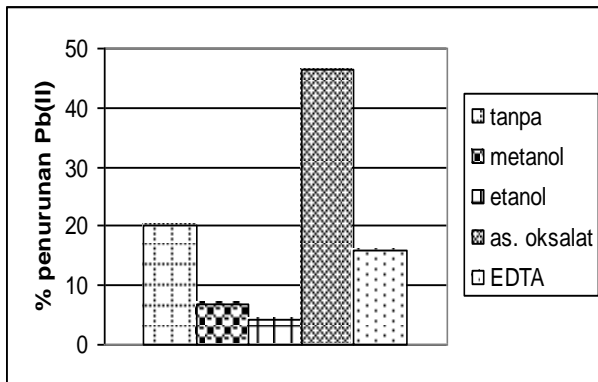
terjadi pada oksidasi oksalat dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + \text{h}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CO}_2^{\bullet -} \quad (8)$$


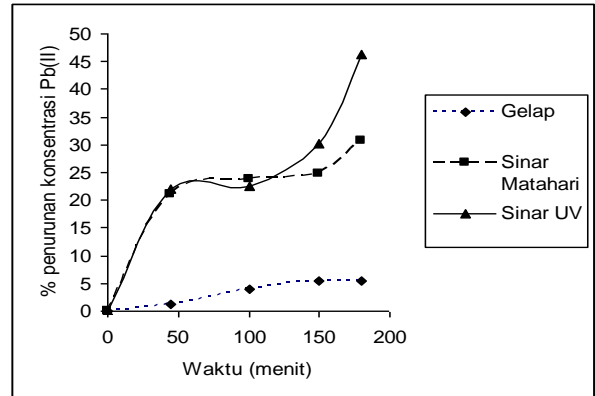
Gambar 1. Reaktor fotoreduksi Pb²⁺



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺



Gambar 3. Pengaruh *hole scavenger* terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺



Gambar 4. Pengaruh sumber sinar terhadap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺

Pengaruh Sumber Sinar Terhadap Aktifitas Fotoreduksi Pb²⁺

Untuk melihat pengaruh sumber sinar dilakukan pada pH 6 dengan asam oksalat sebagai *hole scavenger*. Sumber sinar yang digunakan adalah sinar UV dan sinar matahari. Hasil dari pengaruh sumber sinar terhadap aktifitas

fotoreduksi Pb²⁺ dapat dilihat pada dan Gambar 4.

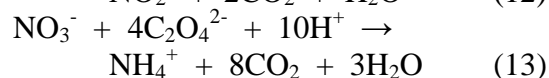
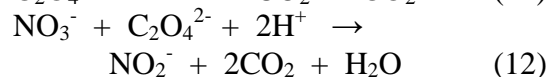
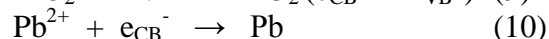
Dari Gambar 4. terlihat bahwa, pada kondisi gelap aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ dengan katalis TiO₂, adanya penurunan konsentrasi disebabkan karena pada keadaan gelap yang berperan adalah adsorpsi Pb²⁺ pada TiO₂. Pada keadaan gelap, proses fotokatalisis tidak terjadi

karena tidak tersedianya sumber energi (foton) untuk transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada TiO₂. Jadi, pada keadaan gelap TiO₂ tidak menghasilkan *hole* dan elektron, dengan tidak tersedianya elektron maka reaksi reduksi Pb²⁺ tidak mungkin terjadi.

Pada kondisi penyinaran dengan lampu UV dan sinar matahari, proses reduksi dari TiO₂ dapat terjadi karena tersedianya energi (foton) yang cukup untuk transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada katalis TiO₂ sehingga tersedia *hole* dan elektron untuk proses reduksi Pb²⁺. Proses transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada TiO₂ memerlukan sinar UV pada panjang gelombang sekitar 340 – 415 nm, intensitas sinar UV pada matahari ± 1 mW/cm² (Fujishima, 1999). Pada kondisi penyinaran dengan lampu UV aktifitas reduksi Pb²⁺ lebih tinggi dibanding dengan sumber sinar matahari, hal ini terjadi karena intensitas sinar UV pada lampu UV lebih tinggi dibanding pada sinar matahari, sehingga jumlah pasangan elektron dan *hole* yang terjadi lebih banyak, dengan tersedianya elektron yang lebih banyak maka aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ juga akan meningkat.

Kemungkinan mekanisme fotoreduksi ion Pb²⁺ dengan larutan standar Pb(NO₃)₂ pada penelitian ini yaitu, TiO₂ yang dikenai sumber sinar UV akan menghasilkan pasangan elektron (e⁻) dan *hole* (h⁺) yang bermuatan positif seperti pada persamaan (9), dengan adanya elektron pada permukaan TiO₂ maka ion Pb²⁺ yang teradsorpsi pada permukaan TiO₂ akan mengalami reduksi menjadi logam Pb seperti pada persamaan (10). Ion nitrat juga akan tereduksi menjadi ion nitrat dan amonia. Dengan adanya oksalat sebagai *hole scavenger*, maka oksalat akan dioksidasi seperti pada persamaan (11). Reduksi nitrat terjadi melalui proses yang tidak langsung, dimana proses dimulai dengan oksidasi ion oksalat oleh

hole yang dihasilkan oleh fotokatalis menjadi spesies CO₂ dan CO₂•⁻ seperti pada persamaan (11). Spesies CO₂•⁻ mempunyai kemampuan reduksi yang tinggi ($E^0(\text{CO}_2/\text{CO}_2\bullet^-) = -1,8\text{V}$) dan mampu untuk mereduksi nitrat menjadi nitrit dan ammonium ($E^0(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-) = 1,203\text{ V}$; $E^0(\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+) = 0,879\text{ V}$) (Jin, 2004).



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ menggunakan katalis lapis tipis TiO₂ dipengaruhi oleh pH, *hole scavenger* dan sumber sinar yang digunakan. Besarnya pH akan mempengaruhi aktifitas fotoreduksi Pb²⁺, semakin besar nilai pH maka aktifitas fotoreduksi semakin meningkat pula. pH optimum untuk fotoreduksi Pb²⁺ didapat pada pH 6. Adanya *hole scavenger* juga akan menentukan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺, untuk penggunaan *hole scavenger*, metanol, etanol dan EDTA akan menurunkan aktifitas fotoreduksi Pb²⁺, sedangkan bila digunakan asam oksalat sebagai *hole scavenger* aktifitas fotoreduksi Pb²⁺ akan meningkat, jadi untuk fotoreduksi Pb²⁺ *hole scavenger* yang paling baik adalah asam oksalat. Sumber sinar yang digunakan juga akan menentukan besarnya aktifitas fotoreduksi Pb²⁺, aktifitas fotoreduksi yang paling baik jika digunakan lampu UV sebagai sumber sinar. Sinar matahari sebagai sumber sinar dapat digunakan untuk fotoreduksi Pb²⁺ dengan menggunakan fotokatalis lapis tipis TiO₂. Atas dasar hasil penelitian ini maka fotokatalis lapis tipis TiO₂ dapat

dimanfaatkan sebagai agen pereduksi ion logam berat dengan menggunakan sumber sinar matahari sehingga proses fotokatalis menjadi lebih murah dan efisien karena tidak perlu menggunakan sumber sinar dari lampu UV.

DAFTAR PUSTAKA

- Dingwang Chen and Ajay K. Ray., 1999., *Elimination of Mercury in Wastewater by Heterogeneous Photocatalysis.*, The 8th Congress of Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering., August 16-19, Seoul, Korea
- Fujishima, Akira., Kazuhito Hashimoto., Toshiya Watanabe., 1999., *TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications.*, Bkc, Inc., Tokyo
- Jin, R., et.al., 2004., Photocatalytic Reduction of Nitrat Ion in Drinking Water by Using Metal-loaded Mg-TiO₃-TiO₂ Composite Semiconductor Catalyst., *Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry* 162, 585-590
- Nguyen, V.N.H., Amal R., Beydoun D., 2003., Effect of Formate and Methanol on Photoreduction/removal of Toxic Cadmium Ion Using TiO₂ Semiconductor as Photocatalyst., *Chem. Eng. Sci.*, 58 (19) 4429-4439
- Toor, A.P., Anoop Verma., C.K. Jotshi., P.K. Bajpai., and Vasundhara Singh., 2006., Photocatalytic Degradation of Direct Yellow 12 Dye Using UV/TiO₂ in a Shallow Pond Slurry Reactor., *Dyes and Pigments*, 68, 53-60